

Caso necessário, use os seguintes dados:

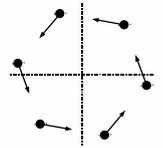
**Aceleração da gravidade** =  $10 \text{ m/s}^2$

**Velocidade de som no ar** =  $340 \text{ m/s}$

**Densidade da água** =  $1,0 \text{ g/cm}^3$

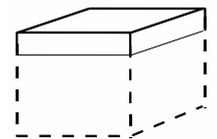
**Comprimento de onda médio da luz** =  $570 \text{ nm}$

**Questão 1.** Um problema clássico da cinemática considera objetos que, a partir de certo instante, se movem conjuntamente com velocidade de módulo constante a partir dos vértices de um polígono regular, cada qual apontando à posição instantânea do objeto vizinho em movimento. A figura mostra a configuração desse movimento múltiplo no caso de um hexágono regular. Considere que o hexágono tinha  $10,0 \text{ m}$  de lado no instante inicial e que os objetos se movimentam com velocidade de módulo constante de  $2,00 \text{ m/s}$ . Após quanto tempo estes se encontrarão e qual deverá ser a distância percorrida por cada um dos seis objetos?



- A ( ) 5,8 s e 11,5 m
- B ( ) 11,5 s e 5,8 m
- C ( ) 10,0 s e 20,0 m
- D ( ) 20,0 s e 10,0 m
- E ( ) 20,0 s e 40,0 m

**Questão 2.** Um cubo maciço homogêneo com  $4,0 \text{ cm}$  de aresta flutua na água tranquila de uma lagoa, de modo a manter  $70\%$  da área total da sua superfície em contato com a água, conforme mostra a figura. A seguir, uma pequena rã se acomoda no centro da face superior do cubo e este se afunda mais  $0,50 \text{ cm}$  na água. Assinale a opção com os valores aproximados da densidade do cubo e da massa da rã, respectivamente.



- A ( )  $0,20 \text{ g/cm}^3$  e  $6,4 \text{ g}$
- B ( )  $0,70 \text{ g/cm}^3$  e  $6,4 \text{ g}$
- C ( )  $0,70 \text{ g/cm}^3$  e  $8,0 \text{ g}$
- D ( )  $0,80 \text{ g/cm}^3$  e  $6,4 \text{ g}$
- E ( )  $0,80 \text{ g/cm}^3$  e  $8,0 \text{ g}$ .

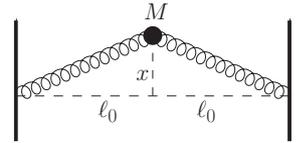
**Questão 3.** Uma pessoa de  $80,0 \text{ kg}$  deixa-se cair verticalmente de uma ponte amarrada a uma corda elástica de "bungee jumping" com  $16,0 \text{ m}$  de comprimento. Considere que a corda se esticará até  $20,0 \text{ m}$  de comprimento sob a ação do peso. Suponha que, em todo o trajeto, a pessoa toque continuamente uma vuvuzela, cuja frequência natural é de  $235 \text{ Hz}$ . Qual(is) é(são) a(s) distância(s) abaixo da ponte em que a pessoa se encontra para que um som de  $225 \text{ Hz}$  seja percebido por alguém parado sobre a ponte?

- A ( )  $11,4 \text{ m}$
- B ( )  $11,4 \text{ m}$  e  $14,4 \text{ m}$
- C ( )  $11,4 \text{ m}$  e  $18,4 \text{ m}$
- D ( )  $14,4 \text{ m}$  e  $18,4 \text{ m}$
- E ( )  $11,4 \text{ m}$ ,  $14,4 \text{ m}$  e  $18,4 \text{ m}$

**Questão 4.** Na ficção científica *A Estrela*, de H.G. Wells, um grande asteróide passa próximo à Terra que, em consequência, fica com sua nova órbita mais próxima do Sol e tem seu ciclo lunar alterado para  $80 \text{ dias}$ . Pode-se concluir que, após o fenômeno, o ano terrestre e a distância Terra-Lua vão tornar-se, respectivamente,

- A ( ) mais curto - aproximadamente a metade do que era antes.
- B ( ) mais curto - aproximadamente duas vezes o que era antes.
- C ( ) mais curto - aproximadamente quatro vezes o que era antes.
- D ( ) mais longo - aproximadamente a metade do que era antes.
- E ( ) mais longo - aproximadamente um quarto do que era antes.

**Questão 5.** Sobre uma mesa sem atrito, uma bola de massa  $M$  é presa por duas molas alinhadas, de constante de mola  $k$  e comprimento natural  $\ell_0$ , fixadas nas extremidades da mesa. Então, a bola é deslocada a uma distância  $x$  na direção perpendicular à linha inicial das molas, como mostra a figura, sendo solta a seguir. Obtenha a aceleração da bola, usando a aproximação  $(1 + a)^\alpha = 1 + \alpha a$ .



- A ( )  $a = -kx/M$   
 B ( )  $a = -kx^2/2M\ell_0$   
 C ( )  $a = -kx^2/M\ell_0$   
 D ( )  $a = -kx^3/2M\ell_0^2$   
 E ( )  $a = -kx^3/M\ell_0^2$

**Questão 6.** Um corpo de massa  $M$ , inicialmente em repouso, é erguido por uma corda de massa desprezível até uma altura  $H$ , onde fica novamente em repouso. Considere que a maior tração que a corda pode suportar tenha módulo igual a  $nMg$ , em que  $n > 1$ . Qual deve ser o menor tempo possível para ser feito o erguimento desse corpo?

- A ( )  $\sqrt{\frac{2H}{(n-1)g}}$   
 B ( )  $\sqrt{\frac{2nH}{(n-1)g}}$   
 C ( )  $\sqrt{\frac{nH}{2(n-1)^2g}}$   
 D ( )  $\sqrt{\frac{4nH}{(n-2)g}}$   
 E ( )  $\sqrt{\frac{4nH}{(n-1)g}}$

**Questão 7.** Uma partícula de massa  $m$  move-se sobre uma linha reta horizontal num Movimento Harmônico Simples (MHS) com centro  $O$ . Inicialmente, a partícula encontra-se na máxima distância  $x_0$  de  $O$  e, a seguir, percorre uma distância  $a$  no primeiro segundo e uma distância  $b$  no segundo seguinte, na mesma direção e sentido. Quanto vale a amplitude  $x_0$  desse movimento?

- A ( )  $2a^3/(3a^2 - b^2)$   
 B ( )  $2b^2/(4a - b)$   
 C ( )  $2a^2/(3a - b)$   
 D ( )  $2a^2b/(3a^2 - b^2)$   
 E ( )  $4a^2/(3a - 2b)$

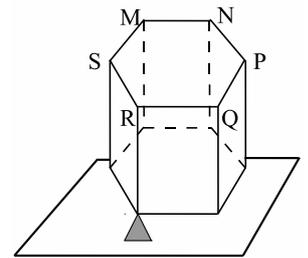
**Questão 8.** Duas partículas idênticas, de mesma massa  $m$ , são projetadas de uma origem  $O$  comum, num plano vertical, com velocidades iniciais de mesmo módulo e ângulos de lançamento respectivamente  $\alpha$  e  $\beta$  em relação à horizontal. Considere  $T_1$  e  $T_2$  os respectivos tempos de alcance do ponto mais alto de cada trajetória e  $t_1$  e  $t_2$  os respectivos tempos para as partículas alcançar um ponto comum de ambas as trajetórias. Assinale a opção com o valor da expressão  $t_1T_1 + t_2T_2$ .

- A ( )  $2v_0^2(\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\beta)/g^2$   
 B ( )  $2v_0^2/g^2$   
 C ( )  $4v_0^2\operatorname{sen}\alpha/g^2$   
 D ( )  $4v_0^2\operatorname{sen}\beta/g^2$   
 E ( )  $2v_0^2(\operatorname{sen}\alpha + \operatorname{sen}\beta)/g^2$

**Questão 9.** Um exercício sobre a dinâmica da partícula tem seu início assim enunciado : *Uma partícula está se movendo com uma aceleração cujo módulo é dado por  $\mu(r + a^3/r^2)$  , sendo  $r$  a distância entre a origem e a partícula. Considere que a partícula foi lançada a partir de uma distância  $a$  com uma velocidade inicial  $2\sqrt{\mu a}$ . Existe algum erro conceitual nesse enunciado ? Por que razão?*

- A ( ) Não, porque a expressão para a velocidade é consistente com a da aceleração;
- B ( ) Sim, porque a expressão correta para a velocidade seria  $2a^2\sqrt{\mu}$ ;
- C ( ) Sim, porque a expressão correta para a velocidade seria  $2a^2\sqrt{\mu/r}$ ;
- D ( ) Sim, porque a expressão correta para a velocidade seria  $2\sqrt{a^2\mu/r}$ ;
- E ( ) Sim, porque a expressão correta para a velocidade seria  $2a\sqrt{\mu}$ ;

**Questão 10.** Um prisma regular hexagonal homogêneo com peso de 15 N e aresta da base de 2,0 m é mantido de pé graças ao apoio de um dos seus vértices da base inferior (ver figura) e à ação de uma força vertical de suspensão de 10 N (não mostrada). Nessas condições, o ponto de aplicação da força na base superior do prisma encontra-se

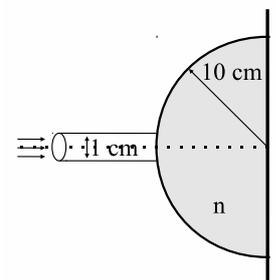


- A ( ) sobre o segmento  $\overline{RM}$  a 2,0 m de  $R$ .
- B ( ) sobre o segmento  $\overline{RN}$  a 4,0 m de  $R$ .
- C ( ) sobre o segmento  $\overline{RN}$  a 3,0 m de  $R$ .
- D ( ) sobre o segmento  $\overline{RN}$  a 2,0 m de  $R$ .
- E ( ) sobre o segmento  $\overline{RP}$  a 2,5 m de  $R$ .

**Questão 11.** Um relógio tem um pêndulo de 35 cm de comprimento. Para regular seu funcionamento, ele possui uma porca de ajuste que encurta o comprimento do pêndulo de 1 mm a cada rotação completa à direita e alonga este comprimento de 1 mm a cada rotação completa à esquerda. Se o relógio atrasa um minuto por dia, indique o número aproximado de rotações da porca e sua direção necessários para que ele funcione corretamente.

- A ( ) 1 rotação à esquerda
- B ( ) 1/2 rotação à esquerda
- C ( ) 1/2 rotação à direita
- D ( ) 1 rotação à direita
- E ( ) 1 e 1/2 rotações à direita.

**Questão 12.** Um hemisfério de vidro maciço de raio de 10 cm e índice de refração  $n = 3/2$  tem sua face plana apoiada sobre uma parede, como ilustra a figura. Um feixe colimado de luz de 1 cm de diâmetro incide sobre a face esférica, centrado na direção do eixo de simetria do hemisfério. Valendo-se das aproximações de ângulos pequenos,  $\sin\theta \approx \theta$  e  $\text{tg}\theta \approx \theta$ , o diâmetro do círculo de luz que se forma sobre a superfície da parede é de



- A ( ) 1 cm.
- B ( )  $\frac{2}{3}$  cm.
- C ( )  $\frac{1}{2}$  cm.
- D ( )  $\frac{1}{3}$  cm.
- E ( )  $\frac{1}{10}$  cm.

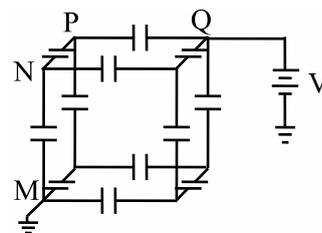
**Questão 13.** A inversão temporal de qual dos processos abaixo NÃO violaria a segunda lei de termodinâmica?

- A ( ) A queda de um objeto de uma altura  $H$  e subsequente parada no chão
- B ( ) O movimento de um satélite ao redor da Terra
- C ( ) A freiada brusca de um carro em alta velocidade
- D ( ) O esfriamento de um objeto quente num banho de água fria
- E ( ) A troca de matéria entre as duas estrelas de um sistema binário

**Questão 14.** Fontes distantes de luz separadas por um ângulo  $\alpha$  numa abertura de diâmetro  $D$  podem ser distinguidas quando  $\alpha > 1,22\lambda/D$ , em que  $\lambda$  é o comprimento de onda da luz. Usando o valor de 5 mm para o diâmetro das suas pupilas, a que distância máxima aproximada de um carro você deveria estar para ainda poder distinguir seus faróis acesos? Considere uma separação entre os faróis de 2 m.

- A ( ) 100 m
- B ( ) 500 m
- C ( ) 1 km
- D ( ) 10 km
- E ( ) 100 km

**Questão 15.** Uma diferença de potencial eletrostático  $V$  é estabelecida entre os pontos  $M$  e  $Q$  da rede cúbica de capacitores idênticos mostrada na figura. A diferença de potencial entre os pontos  $N$  e  $P$  é



- A ( )  $V/2$ .
- B ( )  $V/3$ .
- C ( )  $V/4$ .
- D ( )  $V/5$ .
- E ( )  $V/6$ .

**Questão 16.** Um fio condutor é derretido quando o calor gerado pela corrente que passa por ele se mantém maior que o calor perdido pela superfície do fio (desprezando a condução de calor pelos contatos). Dado que uma corrente de 1 A é a mínima necessária para derreter um fio de seção transversal circular de 1 mm de raio e 1 cm de comprimento, determine a corrente mínima necessária para derreter um outro fio da mesma substância com seção transversal circular de 4 mm de raio e 4 cm de comprimento.

- A ( )  $1/8$  A
- B ( )  $1/4$  A
- C ( ) 1 A
- D ( ) 4 A
- E ( ) 8 A

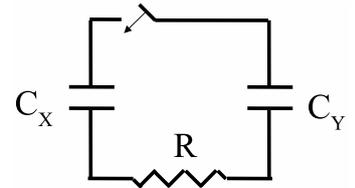
**Questão 17.** Prótons (carga  $e$  e massa  $m_p$ ), deuteron (carga  $e$  e massa  $m_d = 2m_p$ ) e partículas alfas (carga  $2e$  e massa  $m_a = 4m_p$ ) entram em um campo magnético uniforme  $\vec{B}$  perpendicular a suas velocidades, onde se movimentam em órbitas circulares de períodos  $T_p$ ,  $T_d$  e  $T_a$ , respectivamente. Pode-se afirmar que as razões dos períodos  $T_d/T_p$  e  $T_a/T_p$  são, respectivamente,

- A ( ) 1 e 1.
- B ( ) 1 e  $\sqrt{2}$ .
- C ( )  $\sqrt{2}$  e 2.
- D ( ) 2 e  $\sqrt{2}$ .
- E ( ) 2 e 2.

**Questão 18.** Uma bobina de 100 espiras, com seção transversal de área de  $400 \text{ cm}^2$  e resistência de  $20 \Omega$ , está alinhada com seu plano perpendicular ao campo magnético da Terra, de  $7,0 \times 10^{-4} \text{ T}$  na linha do Equador. Quanta carga flui pela bobina enquanto ela é virada de  $180^\circ$  em relação ao campo magnético?

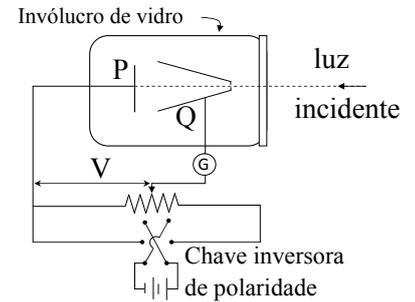
- A ( )  $1,4 \times 10^{-4} \text{ C}$
- B ( )  $2,8 \times 10^{-4} \text{ C}$
- C ( )  $1,4 \times 10^{-2} \text{ C}$
- D ( )  $2,8 \times 10^{-2} \text{ C}$
- E ( )  $1,4 \text{ C}$

**Questão 19.** No circuito ideal da figura, inicialmente aberto, o capacitor de capacitância  $C_X$  encontra-se carregado e armazena uma energia potencial elétrica  $E$ . O capacitor de capacitância  $C_Y = 2C_X$  está inicialmente descarregado. Após fechar o circuito e este alcançar um novo equilíbrio, pode-se afirmar que a soma das energias armazenadas nos capacitores é igual a



- A ( ) 0.
- B ( )  $E/9$ .
- C ( )  $E/3$ .
- D ( )  $4E/9$ .
- E ( )  $E$ .

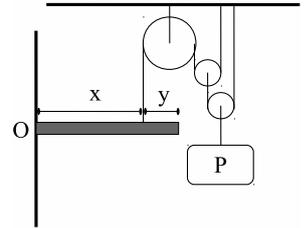
**Questão 20.** O aparato para estudar o efeito fotoelétrico mostrado na figura consiste de um invólucro de vidro que encerra o aparelho em um ambiente no qual se faz vácuo. Através de uma janela de quartzo, luz monocromática incide sobre a placa de metal  $P$  e libera elétrons. Os elétrons são então detectados sob a forma de uma corrente, devido à diferença de potencial  $V$  estabelecida entre  $P$  e  $Q$ . Considerando duas situações distintas  $a$  e  $b$ , nas quais a intensidade da luz incidente em  $a$  é o dobro do caso  $b$ , assinale qual dos gráficos abaixo representa corretamente a corrente fotoelétrica em função da diferença de potencial.



- A ( )
- B ( )
- C ( )
- D ( )
- E ( )

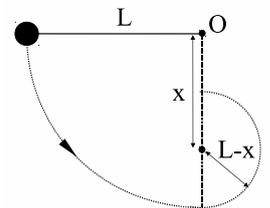
**AS QUESTÕES DISSERTATIVAS, NUMERADAS DE 21 A 30, DEVEM SER RESPONDIDAS NO CADERNO DE SOLUÇÕES.**

**Questão 21.** Uma barra homogênea, articulada no pino  $O$ , é mantida na posição horizontal por um fio fixado a uma distância  $x$  de  $O$ . Como mostra a figura, o fio passa por um conjunto de três polias que também sustentam um bloco de peso  $P$ . Desprezando efeitos de atrito e o peso das polias, determine a força de ação do pino  $O$  sobre a barra.

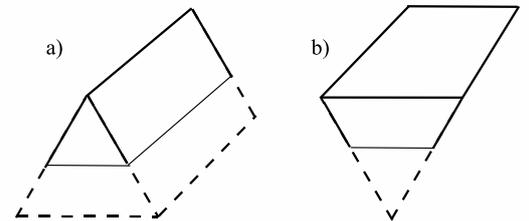


**Questão 22.** Um objeto de massa  $m$  é projetado no ar a  $45^\circ$  do chão horizontal com uma velocidade  $v$ . No ápice de sua trajetória, este objeto é interceptado por um segundo objeto, de massa  $M$  e velocidade  $V$ , que havia sido projetado verticalmente do chão. Considerando que os dois objetos "se colam" e desprezando qualquer tipo de resistência aos movimentos, determine a distância  $d$  do ponto de queda dos objetos em relação ao ponto de lançamento do segundo objeto.

**Questão 23.** Um pêndulo, composto de uma massa  $M$  fixada na extremidade de um fio inextensível de comprimento  $L$ , é solto de uma posição horizontal. Em dado momento do movimento circular, o fio é interceptado por uma barra metálica de diâmetro desprezível, que se encontra a uma distância  $x$  na vertical abaixo do ponto  $O$ . Em consequência, a massa  $M$  passa a se movimentar num círculo de raio  $L - x$ , conforme mostra a figura. Determine a faixa de valores de  $x$  para os quais a massa do pêndulo alcance o ponto mais alto deste novo círculo.



**Questão 24.** Um bloco, com distribuição homogênea de massa, tem o formato de um prisma regular cuja seção transversal é um triângulo equilátero. Tendo  $0,5 \text{ g/cm}^3$  de densidade, tal bloco poderá flutuar na água em qualquer das posições mostradas na figura. Qual das duas posições será a mais estável? Justifique sua resposta. Lembrar que o baricentro do triângulo encontra-se a  $2/3$  da distância entre um vértice e seu lado oposto.

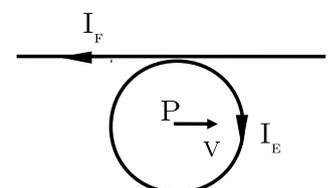


**Questão 25.** Um filme fino de sabão é sustentado verticalmente no ar por uma argola. A parte superior do filme aparece escura quando é observada por meio de luz branca refletida. Abaixo da parte escura aparecem bandas coloridas. A primeira banda tem cor vermelha ou azul? Justifique sua resposta.

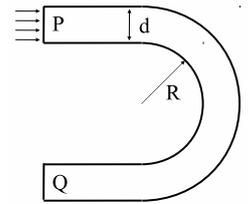
**Questão 26.** O tubo mais curto de um órgão típico de tubos tem um comprimento de aproximadamente 7 cm. Qual é o harmônico mais alto na faixa audível, considerada como estando entre 20 Hz e 20.000 Hz, de um tubo deste comprimento aberto nas duas extremidades?

**Questão 27.** Uma bolha de gás metano com volume de  $10 \text{ cm}^3$  é formada a 30 m de profundidade num lago. Suponha que o metano comporta-se como um gás ideal de calor específico molar  $C_V = 3R$  e considere a pressão atmosférica igual a  $10^5 \text{ N/m}^2$ . Supondo que a bolha não troque calor com a água ao seu redor, determine seu volume quando ela atinge a superfície.

**Questão 28.** Uma corrente  $I_E$  percorre uma espira circular de raio  $R$  enquanto uma corrente  $I_F$  percorre um fio muito longo, que tangencia a espira, estando ambos no mesmo plano, como mostra a figura. Determine a razão entre as correntes  $I_E/I_F$  para que uma carga  $Q$  com velocidade  $v$  paralela ao fio no momento que passa pelo centro  $P$  da espira não sofra aceleração nesse instante.



**Questão 29.** Um tarugo de vidro de índice de refração  $n = 3/2$  e seção transversal retangular é moldado na forma de uma ferradura, como ilustra a figura. Um feixe de luz incide perpendicularmente sobre a superfície plana  $P$ . Determine o valor mínimo da razão  $R/d$  para o qual toda a luz que penetra pela superfície  $P$  emerge do vidro pela superfície  $Q$ .



**Questão 30.** Obtenha uma expressão para as energias das órbitas do modelo de Bohr do átomo de Hidrogênio usando a condição de que o comprimento da circunferência de uma órbita do elétron ao redor do próton seja igual um número inteiro de comprimentos de onda de de Broglie do elétron.